

DISPOSITIF PHOTOGRAPHIQUE DE MESURE SANS CONTACT ET DE
REPRESENTATION 3D DU MICRORELIEF CUTANE

- 5 La présente invention concerne un procédé et dispositif ayant pour but de mesurer le micro-relief cutané durant les différentes phases d'un traitement anti-rides. Le secteur technique de l'invention est le domaine, mais pas uniquement, de la réalisation de matériel d'évaluation des traitements anti-rides de l'industrie du cosmétique.
- 10 Le procédé et dispositif de la présente invention est utilisable dans toute application, où une détermination du micro-relief ou de l'état de rugosité d'une surface sont recherchés. Cependant, pour simplifier la présentation de l'art antérieur, on citera ci-après essentiellement les références aux applications de la cosmétologie.
- 15 Menée parallèlement aux tests pharmacologiques habituels, la mesure du micro-relief cutané durant les différentes phases d'un traitement anti-rides est à ce jour le seul moyen objectif de vérifier son efficacité clinique. L'industrie du cosmétique teste régulièrement ses produits en vraie grandeur, par la mesure 3D d'empreintes silicones moulées sur les sujets d'une population d'essai. L'étude comparative de ces résultats avec ceux obtenus sur une population de référence permet d'observer statistiquement l'efficacité du traitement appliqué.
- 20 A ce jour, les moyens de mesure performants mis à la disposition des chercheurs permettent d'analyser la profondeur des rides avec une résolution allant de 5 à 50 microns. En excluant les moyens mécaniques de la métrologie classique, les procédés optiques disponibles sont basés sur l'un des deux principes suivants :
- 25
- La triangulation : Le traitement géométrique des informations délivrées par deux capteurs croisés fournit les coordonnées 3D des points observés. Ce principe est typiquement celui de la photogrammétrie : néanmoins, l'absence de points repérables sur la peau conduit les constructeurs à utiliser un marquage optique mobile (fentes ou plan laser) dont le déplacement ralentit l'acquisition des mesures.
- 30
- La profondeur de champ : L'échantillon est observé point par point par un système microscopique. En chaque point, la valeur de déplacement de l'objectif autofocus est corrélée à la distance d'observation. Cette méthode

est extrêmement précise mais nécessite plusieurs minutes pour scanner l'ensemble de l'échantillon avec un pas suffisant pour l'étude.

5 Ces deux principes n'offrent pas la rapidité indispensable à l'acquisition instantanée des mesures : ils ne sont applicables qu'à des échantillons inertes. Le moulage cutané reste dans tous les cas obligatoire.

La suppression du moulage (et parfois même du contre moulage) permettrait de réduire le coût par sujet d'une campagne de test, et par voie de conséquence de tester une population plus vaste.

10

Une solution aux problèmes posés ci-dessus est un procédé de mesure du micro-relief cutané par un moyen autorisant une acquisition rapide et direct sur le sujet.

Selon le procédé faisant l'objet de l'invention, l'étude du micro-relief cutané est obtenue par une analyse particulière dont le principe est décrit ci-après, de deux images vidéo
15 prises avec un seul appareil photo. Lesdites images représentent deux photographies de la surface à analyser ayant le même point de vue selon deux éclairages différents activés séquentiellement. Le tout s'effectuant en moins de 0,1 secondes. L'appareil photo utilisé est préférentiellement du type à capteur CCD afin d'obtenir des images numérisées. Les deux sources d'éclairage sont disposées selon deux angles de 30 degrés par exemple de
20 part et d'autre d'un plan normal à la surface à étudier. Le schéma de principe du procédé selon l'invention est donné planche 1. Pour mieux faire comprendre l'intérêt du procédé selon l'invention, en ce qu'il permet de calculer et de mesurer rapidement un micro relief à l'aide d'un seul capteur, il est opportun de poser les bases théoriques qui ont servies à concevoir et réaliser le dispositif selon l'invention.

25 **Méthode d'analyse**

On considère que la luminance d'une surface élémentaire est définie par une fonction liant l'angle d'incidence de l'éclairage, la position du capteur par rapport à la source et le pouvoir réflecteur de l'échantillon. Connaissant ces paramètres constants pour tout le cliché, il est possible de déterminer par son niveau de gris l'angle que fait une surface par
30 rapport à la lumière incidente, prise comme direction de référence. La prise en compte de deux incidences nettement différentes à 60 degrés par exemple autorise l'analyse d'échantillons non homogènes sur le plan chromatique.

Les études menées notamment par les métallurgistes sur la rugosité d'une surface éclairée selon une incidence connue par traitement d'image ont montré que niveau de gris

en un point dépend non pas de la hauteur mais de la pente du profil en ce point. La pente des rugosités est donc une fonction affine de la microtopographie de la surface analysée. Cette détermination reste valable tant que le capteur photo et la source de lumière sont suffisamment éloignés par rapport à la hauteur des profils.

5 On considère donc que la luminance d'une surface élémentaire est définie par une fonction liant l'angle d'incidence de l'éclairage et la position du capteur par rapport à la source. Connaissant ces paramètres constants pour tout le cliché, il est possible de déterminer par son niveau de gris l'angle que fait une surface par rapport à la lumière incidente, prise comme direction de référence.

10 Ce traitement délivre pour tout élément d'image la pente locale de l'élément de surface correspondant. L'intégration des pentes données par les éléments d'image voisins permet, par propagation depuis une référence altimétrique, de déterminer la profondeur en chaque point de l'image.

Afin de trouver une relation liant l'angle d'incidence de l'éclairage et la position
15 du capteur, nous nous sommes penchés sur le modèle de Phong dont on trouvera une description détaillée dans l'ouvrage : La synthèse d'images, par Bernard Peroche, Jackeline Argence, Djamchid Ghazanfarpour et Dominique Michelucci, aux éditions Hermes.

L'éclairement ou l'illumination décrit l'intensité de la lumière réfléchiée par un élément
20 d'image sur la surface de l'objet et vue par l'utilisateur. Le « modèle d'illumination de Phong » a été développé par Bui-Tuong-Phong. Il est illustré figure 1.

Nous considérons que la source lumineuse est un point. La surface de l'objet est éclairée
25 par la lumière directe en provenance de la source qui se réfléchit suivant le vecteur R qui fait un angle θ avec la normale N à la surface. En même temps, l'objet est éclairé par la lumière ambiante qui sera partiellement réfléchiée vers l'observateur. La position de ce dernier par rapport à la surface de l'objet est repérée par le vecteur V. L'intensité I de la lumière de longueur d'onde λ perçue par l'observateur est donnée par l'équation 1 :

Equation 1 :

$$I_{\lambda} = I_{a\lambda} K_a O_{d\lambda} + f_{att} I_{p\lambda} [K_d O_{d\lambda} \cos \theta + K_s O_{s\lambda} \cos^n \alpha]$$

30

avec $I_{a\lambda}$: intensité de la lumière ambiante

$I_{p\lambda}$: intensité de la source de lumière ponctuelle de longueur d'onde λ

K_a : coefficient de réflexion de la lumière ambiante par la surface

K_d : coefficient de réflexion pour la diffusion

K_s : coefficient de réflexion spéculaire

$O_{d\lambda}$: couleur de diffusion de l'objet

$O_{s\lambda}$: couleur spéculaire

5 f_{att} : facteur d'atténuation de l'atmosphère.

Cette équation convient parfaitement pour nos applications pratiques, car elle fait intervenir les coefficients souhaités. Expérimentalement, nous travaillerons dans des conditions différentes et de ce fait l'équation sera simplifiée par la suppression de
10 certains coefficients :

- toutes les applications seront accomplies dans une pièce isolée de toute lumière extérieure (aucune lumière ambiante donc $I_{a\lambda} K_a O_d = 0$)
- 15 - le facteur d'atténuation de l'atmosphère sera égal à 1 car nous travaillerons sur de courtes distances
- nous ne prendrons pas en compte la couleur de diffusion et la couleur spéculaire car notre surface sera blanche et celle-ci sera éclairée par de la lumière blanche.

20 D'autre part, la réflexion spéculaire modélise la lumière réfléchie par une surface brillante comme un miroir ou une carrosserie de voiture. Dans ce cas il y a une zone près de la normale N où la couleur de l'objet apparaît « blanche ». La lumière réfléchie est spécialement intense quand l'angle α délimité par R et V est petit. La composante de la lumière réfléchie chute rapidement quand α croît. Dans le modèle de Phong, on utilise
25 pour représenter cela une fonction $\cos^n \alpha$. Plus il est grand, plus $\cos^n \alpha$ décroît rapidement et la réflexion spéculaire atteint vite zéro.

Les surfaces que nous étudierons seront mates afin que ses caractéristiques se rapprochent le plus de celles de la peau. Dans ces conditions n vaudra le plus petit entier possible à savoir $n=1$.

30 Après les modifications apportées, nous obtenons une forme plus simplifiée de l'équation précédente :

Equation 2 :

$$I_\lambda = I_{p\lambda} (K_d \cos \theta + K_s \cos \alpha)$$

La fonction ci-dessus sera appliquée pour l'intensité lumineuse provenant de l'éclairage gauche et pour l'intensité lumineuse provenant de l'éclairage droit. Nous remarquons que cette fonction n'est pas bijective sur un intervalle défini. C'est pourquoi nous ferons la
 5 différence des deux intensités afin d'obtenir une fonction bijective c'est-à-dire qui soit strictement monotone sur un intervalle défini. Grâce à l'intensité lumineuse, nous pourrions déterminer l'angle d'incidence. Nous nous fixerons comme différence $I_{\lambda G} - I_{\lambda D}$.

Schémas principaux du montage

10

Dans notre cas, nous pouvons constater que l'appareil de prises de vue joue le rôle de l'observateur. Le premier schéma figure 2 symbolise l'expérience lorsque l'éclairage droit est allumé .

15 La formule de Phong fait intervenir deux angles θ et α . θ est l'angle que forme le rayon incident avec la normale à la surface et α est l'angle que forme l'observateur (position de l'appareil de prise de vue) avec le rayon réfléchi. Ces deux angles ne pourront pas être connus, c'est pourquoi nous faisons intervenir deux autres angles φ et β . φ est l'angle que forme le rayon incident avec l'observateur et β est l'angle que forme la surface avec l'axe
 20 des abscisses. C'est l'angle d'inclinaison de la surface. L'angle φ restera constant tout au long des expériences.

Détermination de l'équation de Phong avec les paramètres β et φ

25 Reprenons l'équation 2 pour l'éclairage gauche :

$$I_{\lambda G} = I_{p\lambda} (K_d \cos \theta_1 + K_s \cos \alpha_1)$$

$$\text{On pose } \theta_1 = \varphi + \beta$$

$$\text{On pose } \alpha_1 = \theta_1 + \beta \text{ donc } \alpha_1 = \varphi + 2\beta$$

30

On remplace ensuite les termes ci-dessus dans l'équation et on obtient :

$$I_{\lambda G} = I_{p\lambda} [K_d \cos(\varphi + \beta) + K_s \cos(\varphi + 2\beta)]$$

Reprenons l'équation 2 pour l'éclairage droit :

$$I_{\lambda D} = I_{p\lambda} (K_d \cos \theta_2 + K_s \cos \alpha_2)$$

On pose $\theta_2 = \varphi + \beta$

5 On pose $\alpha_2 = \beta - \theta_2$ donc $\alpha_2 = 2\beta - \varphi$

On remplace ensuite les termes ci-dessus dans l'équation et on obtient :

$$I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d \cos(\varphi - \beta) + K_s \cos(2\beta - \varphi)]$$

10 Nous procédons alors à la différence des deux intensités :

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d \cos(\varphi + \beta) + K_s \cos(\varphi + 2\beta)] - I_{p\lambda} [K_d \cos(\varphi - \beta) + K_s \cos(2\beta - \varphi)]$$

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d (\cos(\varphi + \beta) - \cos(\varphi - \beta)) + K_s (\cos(\varphi + 2\beta) - \cos(2\beta - \varphi))]$$

15 D'une part nous avons :

$$\cos(\varphi + \beta) - \cos(\varphi - \beta) = \cos(\varphi)\cos(\beta) - \sin(\varphi)\sin\beta - \cos(\varphi)\cos(\beta) - \sin(\varphi)\sin(\beta)$$

$$\cos(\varphi + \beta) - \cos(\varphi - \beta) = -2 \sin(\varphi)\sin(\beta)$$

20

D'autre part nous avons :

$$\cos(\varphi + 2\beta) - \cos(2\beta - \varphi) = \cos(\varphi)\cos(2\beta) - \sin(\varphi)\sin(2\beta) - \cos(2\beta)\cos(\varphi) - \sin(2\beta)\sin(\varphi)$$

$$25 \quad \cos(\varphi + 2\beta) - \cos(2\beta - \varphi) = -2 \sin(\varphi)\sin(2\beta)$$

Finalement, nous parvenons à la formule finale donnée par l'équation 3 suivant :

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d (\cos(\varphi + \beta) - \cos(\varphi - \beta)) - K_s (\cos(\varphi + 2\beta) - \cos(2\beta - \varphi))]$$

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = I_{p\lambda} [K_d (-2\sin(\varphi)\sin(\beta)) + K_s (-2\sin(\varphi)\sin(2\beta))]$$

30

Equation 3 :

$$I_{\lambda G} - I_{\lambda D} = -2I_{p\lambda} [K_d \sin(\varphi)\sin(\beta) - K_s \sin(\varphi)\sin(2\beta)]$$

La relation 3 qui exprime la différence de luminances « gauche » et « droite » en fonction de β (φ , K_d , K_s étant constants) nous permet donc de connaître la pente en tout point ou élément d'image de la surface et donc par intégration de restituer le profil à un coefficient multiplicatif et additif près. Lesdits coefficients sont à déterminer par des mesures d'étalonnage.

5 Dans un des modes de réalisation du dispositif selon l'invention schématisé figure 4, on peut préférentiellement regrouper dans un châssis 1, le capteur photo 2 qui peut être amovible et les deux sources de lumière 3 et 4 qui seront fixes. Les lentilles convergentes 6 et 7 sont disposées sur le trajet des flux lumineux et dirigent lesdits flux de façon à les faire converger sur la surface 8 à étudier et représentée ici en coupe. La lumière réfléchie, et captée par l'appareil 2, est focalisée par la lentille 5. Les axes optiques des lentilles 5 6 7 qui s'inscrivent dans un plan, convergent donc sur la surface 8 et forment entre eux un angle constant φ . La mise en œuvre du procédé selon l'invention requière un ordinateur 10 de type PC par exemple. Ledit PC commande les séquences d'allumage de 3 et 4, de déclenchement du capteur 2 et d'acquisition des images numérisées via les interfaces 9 et 12 selon les diagrammes de la figure 5. L'interface électronique 9 comporte les dispositifs (commutateurs) bien connus des électroniciens connectés aux bornes A, B et C qui permettent de fermer respectivement les circuits d'alimentation ou de mise en œuvre de 2, 3 et 4. L'interface électronique 12 est un convertisseur permettant une numérisation des signaux d'image issues du capteur 2. Dans une procédure de mesure du relief cutané par exemple, la séquence d'acquisition se déroule selon le chronogramme figure 5 : A est conducteur (source 3 est allumée), après un bref délai τ , C est conducteur (prise de la première photo), A est coupé et B est conducteur, après un bref délai τ , C est conducteur (prise de la deuxième photo). Le temps d'acquisition n'excède pas au total 0,1 secondes. Le contrôle et le traitement du processus est assuré par le logiciel « TOPOSKIN » 11 spécialement conçu.

FR01 02364

Revendications

1. Dispositif de mesure de la rugosité d'une surface (8), comportant des moyens (3, 4) d'éclairage <7/8> de la surface (8) et des moyens capteurs (2) <7/7, 11> de
5 détection d'une image en lumière réfléchie <7/11> par la surface (8), caractérisé par le fait que les moyens d'éclairage (3, 4) sont agencés pour éclairer la surface (8) selon deux directions déterminées <5/2,3> et de façon alternée <7/22-24> sous la commande de moyens séquenceurs
10 d'activation (9) <7/22-24>, et il est prévu des moyens de calcul (10, 11) <7/14>, reliés aux moyens capteurs (2), pour déterminer, pour une pluralité de points d'image <7/3>, la différence <6/10> entre deux intensités de lumière réfléchie du point d'image considéré éclairé selon
15 les deux directions respectives, pour en déterminer une valeur représentative d'un angle de pente locale relative par rapport à une direction prédéterminée et pour déterminer la rugosité par composition des valeurs représentatives des pentes de points voisins <7/2>.

20 2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens séquenceurs (9) sont commandés par les moyens de calcul (10, 11).

3. Dispositif selon l'une de revendications 1 et 2, comprenant un boîtier de protection contre la lumière
25 parasite, comportant une fenêtre d'appui pour la surface (8).

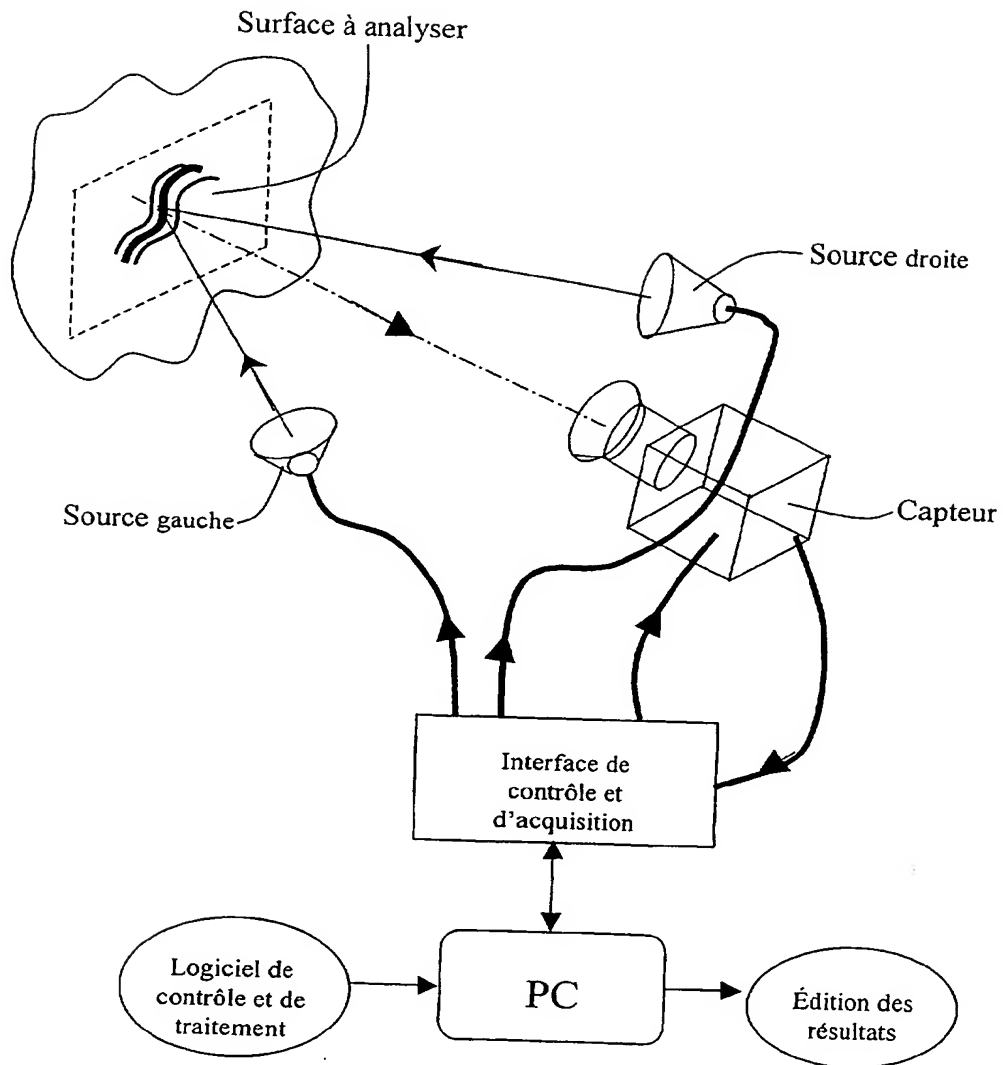
4. Procédé de mesure de la rugosité d'une surface (8), dans lequel on illumine la surface (8) par une source lumineuse et on en détecte une image par un capteur de
30 lumière réfléchie, caractérisé par le fait qu'on éclaire la surface (8) selon deux directions déterminées et de façon alternée, l'image détectée est fournie à des moyens de

calcul (10, 11) qui déterminent, pour chacun d'une pluralité de points d'image, une différence entre deux intensités de lumière réfléchie du point d'image considéré éclairé selon les deux directions respectives, qui en déterminent une valeur représentative une valeur représentative d'un angle de pente locale relative par rapport à une direction prédéterminée et qui déterminent la rugosité par composition des valeurs représentatives des pentes de points voisins.

10 5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel on effectue un étalonnage préalable <7/5> des moyens de calcul (10, 11) pour que la valeur représentative fournisse la valeur absolue de pente.

15

1/3



2/3

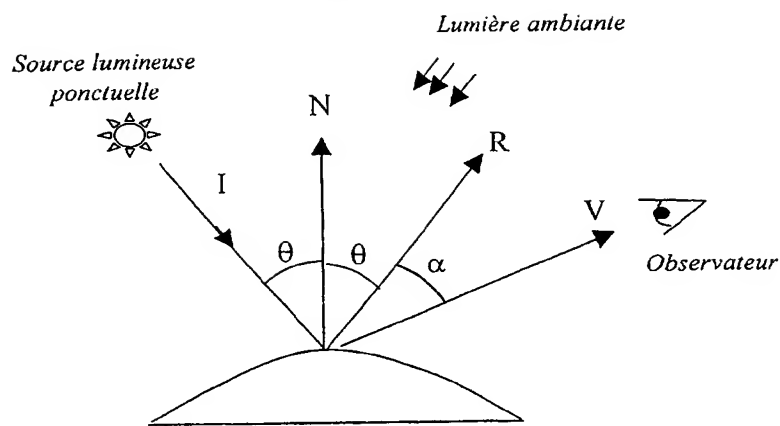


FIG. 1

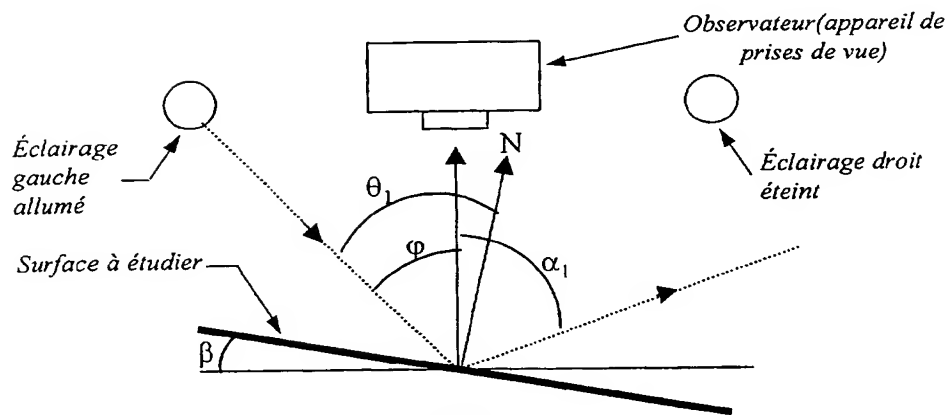


FIG. 2

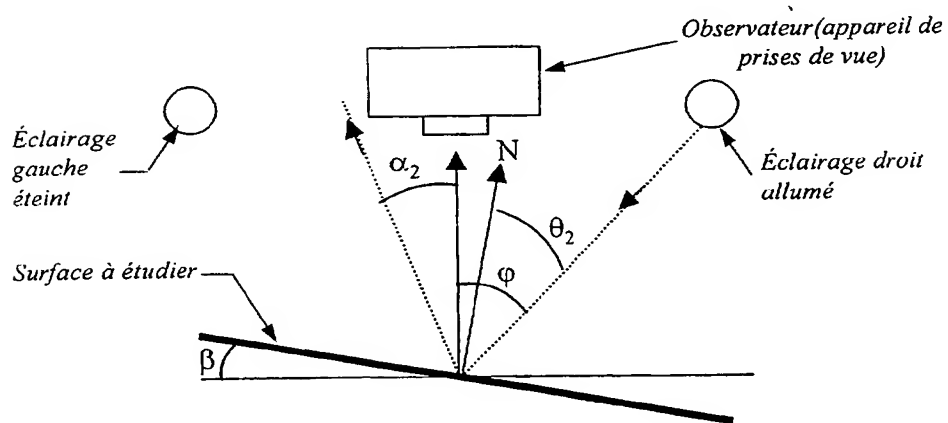


FIG. 3